二氧化碳对家禽的影响及控制措施

孙永波　王　亚　萨仁娜*　张宏福

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：环境控制是肉鸡养殖技术中最为关键的环节，高浓度的有害气体会影响肉鸡的健康生长。虽然二氧化碳本身并没有毒性，但是长期生长在高浓度二氧化碳的鸡舍内可能会降低肉鸡的生长性能，危害肉鸡健康。加强研究舍内二氧化碳对畜禽健康的危害，并探索改善畜禽舍内空气质量的有效措施，对于畜禽健康生长和环境友好具有重要意义。本文主要通过综述舍内二氧化碳的危害和降低二氧化碳浓度的措施，为深入研究二氧化碳对肉鸡健康的影响以及合理调控舍内二氧化碳浓度提供理论依据。

关键词：二氧化碳；肉鸡；危害；措施

中图分类号：S831.4　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

随着畜禽规模化养殖生产的发展，环境对畜禽健康的影响愈发突出。养重于防，防重于治，鸡场要想获得好的经济效益，必须加强对环境的控制。其中，舍内的空气质量是肉鸡健康生长的关键因素。长期生长在低质量空气环境中，导致肉鸡气管炎、肉鸡呼吸道综合征等呼吸道疾病多发，间接降低机体的生长性能和免疫功能。鸡舍内的有害气体主要有氨气、硫化氢和二氧化碳等，目前有关氨气和硫化氢对肉鸡影响的研究报道较多[1-5]，而二氧化碳方面的研究报道较少。近年来，煤炭等燃料价格不断上涨，养殖户通过降低通风量来维持舍内温度，尤其是在冬季，导致鸡舍内二氧化碳的浓度增加。大气中二氧化碳的浓度相对比较稳定，约占 0.03%，但是由于人类活动的影响，大气中二氧化碳浓度正逐步上升，全球大气中的二氧化碳平均浓度在 2015 年首次达到 400 mg/kg，创下新纪录；城市地区户外的二氧化碳浓度为 375~450 mg/kg，估计到 21 世纪末将达到 700 mg/kg[6]。肉鸡生长速度快，新陈代谢旺盛，需氧量大，排出的二氧化碳也多。冬季鸡舍内通风量小，并且许多鸡舍采用煤炭取暖，大大提高了舍内二氧化碳的浓度。Burns 等[7]研究报道，在肉鸡养殖生产过程中，随着日龄的增加，二氧化碳排放量直线上升。张晓迪等[8]研究报道，1~42 日龄，肉鸡二氧化碳的排放

收稿日期：2018-01-19

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0500509）；现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-42)；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

作者简介：孙永波（1991-），男，山东广饶人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: ybsun2014@163.com

*通信作者：萨仁娜，副研究员，硕士生导师，E-mail: sa6289@126.com

量随日龄增加先逐渐升高，之后维持在稳定状态。鸡舍内二氧化碳本身并没有毒性，但是二氧化碳浓度过高会导致舍内氧气浓度过低，鸡群长期氧气不足容易导致慢性中毒，降低免疫功能和采食量，进而降低养殖效益[9]。许多养殖户对鸡舍里面二氧化碳浓度应该控制在什么样的合理范围，是否应该重点考虑仍充满困惑。因此，深入了解二氧化碳对肉鸡生长和健康的影响，对于畜牧业的健康发展意义重大。本文通过简要综述舍内二氧化碳的来源、危害以及控制措施，为舍内空气质量提供预警参数，同时也为深入研究二氧化碳影响肉鸡健康的机理和合理调控舍内二氧化碳浓度提供理论支持。

1　二氧化碳概述

二氧化碳无色、无臭、无毒，但浓度过高会让人感觉不适，甚至造成伤害。二氧化碳的浓度表明了畜舍通风状况和空气的污浊程度，当二氧化碳浓度增加时，其他有害气体浓度也增高，因此，二氧化碳浓度通常被作为监测空气污染程度的可靠指标[10]。肉鸡舍内二氧化碳主要来源于舍内肉鸡的呼吸作用以及碳水化合物有氧分解，受肉鸡体重影响。此外，鸡舍内粪便和垫料中的微生物分解也能够产生部分二氧化碳，占 4%~7%[11]。随着肉鸡的生长，呼吸作用加强，舍内二氧化碳浓度升高[12]。国家颁布的《室内空气质量国家标准》（GB/T 18883—2002）中明确指出，室内二氧化碳浓度的标准值应不高于 0.10%，即不超过 1 000 mg/kg。美国政府工业卫生师协会（American Conference of Government Industrial Hygienists，ACGIH）建议二氧化碳浓度的职业接触限值是 5 000 mg/kg。王阳等[13]研究报道，传送带清粪蛋鸡舍内二氧化碳浓度参数控制标准建议可取 5 000 mg/m^3。我国畜禽场环境质量标准（NY/T 388—1999）规定鸡舍内二氧化碳浓度上限为 1 500 mg/m^3（约 765 mg/kg）。现行标准中二氧化碳浓度已明显偏低，舍内二氧化碳浓度参数标准有待重新制订。

2　舍内二氧化碳浓度的监测

目前有关二氧化碳与肉鸡的研究报道主要集中于舍内二氧化碳浓度和排放量的监测。李丽华等[14]设计了基于无线传感器网络的鸡舍二氧化碳实时监测系统，能够对鸡舍内不同点的二氧化碳进行实时监测，进而及时了解和控制舍内空气质量。申李琰等[15]研究报道，层叠式立体笼养肉鸡舍上、中、下 3 层之间二氧化碳浓度差异不显著，3~6 周龄舍内二氧化碳浓度在 4 000~6 000 mg/m^3。申李琰等[16]还通过比较层叠式立体笼养肉鸡舍秋冬季节舍内二氧化碳浓度发现，冬季舍内二氧化碳浓度显著高于秋季，秋季二氧化碳浓度在 2 725~3 477 mg/m^3，

而冬季达到 3 633~5 681 mg/m^3。张建丽等[17]对单栋饲养量为 32 400 只的商业性白羽肉鸡舍研究显示，肉鸡 3 周龄后舍内二氧化碳浓度在 2 777~7 790 mg/m^3，超过推荐限值，需加强通风换气来改善舍内空气质量。王妮等[18]研究报道，商品肉鸡舍内二氧化碳平均浓度为 3 673 mg/m^3，为舍外浓度的 8.29 倍；最高浓度为 4 680 mg/m^3，为舍外浓度的 10.56 倍。胡晓苗等[19]选取 3 种不同类型的肉鸡舍，检测冬季肉鸡舍的主要环境指标，研究发现，封闭式肉鸡舍二氧化碳浓度高达 3 700 mg/L，封闭式有窗肉鸡舍二氧化碳浓度达到 3 712 mg/L，半开放式肉鸡舍二氧化碳浓度相对较低但也达到 2 740 mg/L，鸡舍内二氧化碳浓度严重超标。周忠凯等[20]研究报道，36～42 日龄的笼养肉鸡二氧化碳的平均排放因子为（154.4±45.7） g/（d·只），夏季由于通风换气量最大，笼养肉鸡舍内二氧化碳浓度最低，平均为（1 522±97） mg/m^3，变化范围较小，冬季由于通风换气量最小，其浓度最高，平均浓度为（3 818±329） mg/m^3。从以上研究报道可以看出，鸡舍内二氧化碳浓度普遍高于国家标准，过高浓度的二氧化碳是否危害肉鸡的健康以及产生危害浓度的阈值有待进一步研究。

3 二氧化碳的影响

3.1 二氧化碳的危害

二氧化碳本身无毒，但是高浓度二氧化碳导致空气中氧气（O_2）含量降低，造成缺氧，导致脑内 ATP 迅速耗竭，中枢神经系统失去能量供应，钠泵运转失灵，钠离子（Na^+）、氢离子（H^+）进入细胞内，使膜内渗透压升高，形成脑水肿[21]。过量的二氧化碳还会危害肺脏和心血管系统[22]。有关二氧化碳危害的研究多集中在医学方面，且试验浓度过高，达到 5%～6%甚至是致死剂量。房春燕等[23]研究报道，低氧气高二氧化碳在早期能使小鼠血脑屏障的通透性升高，血脑屏障超微结构有明显改变。汪建新等[24]研究报道，高浓度二氧化碳气体对大鼠右心室和肺组织具有显著的毒性损伤作用，肺和右心室超氧化物歧化酶活性显著降低，而脂质过氧化物却明显增高，表明抗氧化能力降低，氧化损伤增强。低氧气高二氧化碳能诱导小鼠皮层、海马神经元凋亡，这种作用随着暴露于低氧气高二氧化碳时间延长而趋明显[25]。研究报道，慢性低氧高二氧化碳可导致小鼠大脑线粒体功能明显异常，降低脑组织 ATP、一磷酸腺苷（AMP）浓度以及超氧化物歧化酶（SOD）活性、谷胱甘肽（GSH）含量，导致小鼠的肌纤维萎缩和线粒体损害，伴有炎性细胞浸润[26-27]。二氧化碳中毒患者肌酸激酶活性显著升高，约为正常参考值的 20 倍，谷丙转氨酶（ALT）和谷草转氨酶（AST）活性

为正常值的 2~4 倍，表明二氧化碳中毒导致心肌和肝脏严重受损[28]。此外，有研究表明，教室内二氧化碳浓度通常都超过 1 000 mg/kg，有时甚至超过 3 000 mg/kg，如此高的二氧化碳浓度虽然不会对健康构成危险，但是却会影响到人们的思维和决策能力，当二氧化碳浓度超过 1 000 mg/kg 时，参试者在 9 项测试中，6 项成绩明显下降[29]。Vehviläinen 等[30]研究报道，高浓度的二氧化碳影响人体生理指标，经皮二氧化碳浓度升高，心率异常变化以及外周血循环增加。以上研究表明，高浓度的二氧化碳严重危害小鼠等的脑组织、肺脏和心血管系统等，但是高浓度的二氧化碳是否对肉鸡也会产生如此危害有待进一步深入研究。

在畜牧生产中，有关二氧化碳对动物健康影响的研究报道相对较少，大多数年代久远并且研究不深入。研究表明，大气中二氧化碳浓度上升能够导致细胞氧化，从而造成脱氧核糖核酸的病变和基因突变频率的上升[31]。Purswell 等[32]研究报道，2 500~6 500 mg/kg 浓度的二氧化碳对 28~49 日龄肉鸡的平均日增重和饲料转化率均没有显著影响。Reece 等[33]研究报道，3 000~6 000 mg/kg 浓度的二氧化碳对 1~28 日龄肉鸡的生长性能没有显著影响，但是当二氧化碳浓度达到 12 000 mg/kg 时，会降低肉鸡的体重，但对饲料转化率无显著影响。Olanrewaju 等[34]研究报道，3 000~9 000 mg/kg 浓度的二氧化碳对 1~14 日龄肉鸡的生长性能和二氧化碳分压、氧分压、血液 pH、血红蛋白和血液离子[Na^+、钾离子（K^+）、钙离子（Ca^{2+}）和氯离子（Cl^-）]等血液参数均没有显著影响，但是能提高后期肉鸡的死亡率。Mcgovern 等[35]研究报道，肉鸡暴露在 6 000 mg/kg 浓度二氧化碳环境中 5 周，不会提高腹水综合征的发病率。戴荣国等[36]研究发现，二氧化碳浓度低于 12 μg/L 对肉鸡的生长性能无显著影响，而当鸡舍内二氧化碳浓度高于 12 μg/L 时，导致肉鸡慢性呼吸性酸中毒，肺泡内充满大量蛋白浆液，有炎性细胞和脱落的上皮细胞，静脉血管严重瘀血，而且试验鸡的平均日增重和饲料利用率都不同程度地降低，这表明舍内二氧化碳浓度低于 12 μg/L 对肉鸡健康无明显影响，但高于 12 μg/L 不利于肉鸡的健康生长。戴荣国等[37]还研究发现，不同浓度的二氧化碳（0.03%~0.15%）对肉鸡的屠宰性能无显著影响。陈春林等[38]研究报道，3 000~15 000 mg/m^3 浓度的二氧化碳对肉鸡血清免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 M(IgM)、免疫球蛋白 G(IgG) 含量均没有显著影响，但是当二氧化碳浓度达到 12 000 mg/m^3 时，肉鸡血液中红细胞数量显著降低，而血红蛋白及白细胞数量显著增加，说明试验鸡正处于一种应激状态，不利于肉鸡的健康生长。Helbacka 等[39]研究报道，5%浓度的二氧化碳显著降低蛋鸡血液 pH 和蛋壳厚

度。卢元鹏等[40]研究表明，二氧化碳浓度增高时产蛋率和蛋重有小幅度降低，但是在鸡群适应后则没有明显的影响。

3.2　二氧化碳的应用

Gerritzen 等[41]研究表明，二氧化碳是调节呼吸最重要的生理性体液因素，动脉血中一定水平的二氧化碳分压是维持呼吸和呼吸中枢兴奋不可缺少的条件。鸡胚胎在发育的某些关键期好像需要二氧化碳来提高生长、早期出雏和改善孵化率，二氧化碳能促进某些胚胎器官的发育和功能[42]。长期以来，人们认为较高浓度的二氧化碳不利于胚胎孵化，但是近年来的研究报道显示，在种蛋孵化的某些阶段高碳酸血（即二氧化碳浓度较高）对胚胎的发育可能是有利的。Smit 等[43]观察到，肉鸡种蛋在 0.7%二氧化碳孵化条件下，胚胎生长加快。Buys 等[44]研究报道，孵化后半期高二氧化碳能增加胚胎的重量，降低腹水症的发生，导致提前出雏和增加鸡出雏重。

极高浓度的二氧化碳常用来致晕肉鸡，提高肉鸡的屠宰福利。当吸入大量的二氧化碳后，可导致肉鸡呼吸和代谢性酸中毒，降低脑脊液(CSF)和神经元的 pH，从而发挥其对神经元的抑制和麻醉作用[45]。Xu 等[46]研究报道，肉鸡屠宰前不同浓度的二氧化碳击晕影响肉鸡的肉品质，但是血浆皮质酮、葡萄糖含量及肉的 pH 和肉色等不受二氧化碳浓度的影响。

4　降低舍内二氧化碳的措施

4.1　加强舍内二氧化碳浓度监测和日常管理

现代化的鸡舍环境监测系统结合多种环境指标传感器，进行鸡舍内环境多点连续监测，能够实时监测舍内多种环境指标，并实现数据自动分析处理和超阈值自动报警，为鸡舍管理提供科学的方法[47]。王欢等[48]设计了基于无线传输的鸡舍环境远程监测系统，能够实时监测二氧化碳、氨气等指标，为鸡舍管理人员提供科学的管理依据，提高了管理效率。朱凤舞等[49]基于 ZigBee 和 GPRS 技术开发了一套鸡舍有害气体监控系统，能够实时监测二氧化碳、氨气和硫化氢三大有害气体，操作方便、快捷、准确，实现鸡舍二氧化碳的实时远程、准确测量。

监测只是了解舍内二氧化碳的浓度，当舍内二氧化碳浓度较高，空气质量下降时，还要加强管理来改善空气质量。通风换气能减少鸡舍中的二氧化碳浓度，是改善空气质量最直接有效的方式，但是在通风的同时也要兼顾舍内温度。适当增加垫料厚度能够降低鸡舍二氧化

碳浓度。邵丹等[50]研究报道，12 cm 垫料组 70 日龄鸡舍中二氧化碳浓度显著低于 4 cm 垫料组。适当降低饲养密度也可以降低肉鸡舍中二氧化碳浓度，改善空气质量。童海兵等[51]研究报道，高密度组 42 日龄肉鸡鸡舍内二氧化碳浓度显著高于中密度组和低密度组。

4.2 饲料添加剂和消毒剂

研究表明，饲料添加剂或消毒剂能够有效降低舍内氨气浓度，但有关二氧化碳浓度的研究报道较少。胡立国等[52]研究报道，饲粮中添加中草药微生态制剂能降低牛舍的二氧化碳等有害气体浓度，改善饲养环境，并且使用时间越长，效果越好。刘伟等[53]研究发现，喷洒生物活菌除臭剂能够使鸡舍内二氧化碳浓度有效降低 31.94%。陈静等[54]研究报道，鸡舍内喷洒化学消毒剂聚维酮碘可降低二氧化碳浓度。由此可见，某些添加剂或消毒剂也能有效降低舍内二氧化碳浓度。目前，降低禽舍内二氧化碳浓度的饲料添加剂或消毒剂相对缺乏，有待进一步深入研究和开发。此外，许多矿物质等比表面积大、孔容大，对氨气、硫化氢、二氧化碳及水分有很强的吸附力，从而改善畜禽舍空气质量。龚飞飞等[55]研究报道，碱性吸收剂 GY-4 对牛舍中的二氧化碳具有较好的吸收作用，能够改善舍内空气质量。

4.3 降低舍内氨气浓度

王阳等[13]通过总结国内外学者对不同清粪方式蛋鸡舍内氨气、二氧化碳浓度等进行的大量试验研究发现，舍内二氧化碳浓度与氨气浓度显著相关。Kocaman 等[56]通过对蛋鸡舍进行连续 2 个月试验发现，舍内二氧化碳浓度与氨气浓度呈显著正相关。Ni 等[57]也研究发现，鸡舍内氨气、二氧化碳浓度变化趋势一致，与通风量呈显著负相关，舍内氨气、二氧化碳浓度同升同减。因此降低舍内氨气浓度，同时舍内二氧化碳浓度也会降低。可以通过补充必需氨基酸、降低饲粮中粗蛋白质含量[58]以及饲粮中添加酶制剂、益生菌、植物提取物等饲料添加剂[59-61]等一系列方法降低舍内氨气的浓度，进而降低二氧化碳的浓度。

5 小 结

随着肉鸡养殖规模化和集约化的发展，环境对肉鸡健康的影响越来越大。二氧化碳虽然没有毒性，但是高浓度二氧化碳能够导致动物机体缺氧，而动物长期生长在缺氧的舍内环境中会发生食欲不振、生产能力下降、抵抗能力减弱等不良后果。本文简单总结分析了肉鸡舍内氨气的来源、危害和减排措施，但是目前二氧化碳对肉鸡健康影响的研究尚不完善，尤其是对呼吸系统的影响有待深入研究。因此，深入研究鸡舍内二氧化碳的浓度变化，结合高

通量测序、组学等新技术深入研究二氧化碳对肉鸡健康的影响，探索降低舍内二氧化碳含量的切实有效措施，对我国肉鸡产业的健康发展意义重大。

参考文献：

[1] MILES D M,BRANTON S L,LOTT B D.Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers[J].Poultry Science,2004,83(10):1650–1654.

[2] YI B,CHEN L,RENNA S N,et al.Transcriptome profile analysis of breast muscle tissues from high or low levels of atmospheric ammonia exposed broilers (*Gallus gallus*)[J].PLoS One,2016,11(9):e0162631.

[3] BEKER A,VANHOOSER S L,SWARTZLANDER J H,et al.Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance[J].Journal of Applied Poultry Research,2004,13(1):5–9.

[4] XING H,LUAN S J,SUN Y B,et al.Effects of ammonia exposure on carcass traits and fatty acid composition of broiler meat[J].Animal Nutrition,2016,2(4):282–287.

[5] 孟庆平.不同硫化氢浓度对肉仔鸡生长性能、免疫功能和肉质的影响[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2009.

[6] GENTHON G,BARNOLA J M,RAYNAUD D,et al.Vostok ice core:climatic response to CO_2 and orbital forcing changes over the last climatic cycle[J].Nature,1987,329(6138):414–418.

[7] BURNS R T,LI H,XIN H W,et al.Greenhouse gas (GHG) emissions from broiler houses in the southeastern United States[C]//Agricultural and Biological Engineering Conference Proceedings and Presentations.[S.l.]:ASABE,2008.

[8] 张晓迪,朱丽媛,卢庆萍,等.网上平养模式下肉鸡温室气体排放的研究[J].畜牧兽医学报,2017,48(1):108–115.

[9] 魏凤仙,胡骁飞,李绍钰,等.肉鸡舍内有害气体控制技术研究进展[J].中国畜牧兽医,2011,38(11):231–234.

[10] 黄华,牛智有.基于PIC18F2580的畜禽舍有害气体环境控制系统[J].测控技术,2009,28(4):49–52,57.

[11] JOHNSON J M F,FRANZLUEBBERS A J,WEYERS S L,et al.Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions[J].Environmental Pollution,2007,150(1):107–124.

[12] MILES D M,OWENS P R,ROWE D E.Spatial variability of litter gaseous flux within a commercial broiler house:ammonia,nitrous oxide,carbon dioxide,and methane[J].Poultry Science,2006,85(2):167–72.

[13] 王阳,王朝元,李保明.蛋鸡舍冬季 CO_2 浓度控制标准与最小通风量确定[J].农业工程学报,2017,33(2):240–244.

[14] 李丽华,于尧,黄仁录,等.基于无线传感器网络的鸡舍二氧化碳实时监测系统[J].广东农业科学,2013,40(14):189–191,195.

[15] 申李琰,牛晋国,刘文革,等.层叠式立体笼养肉鸡舍环境参数分布规律研究[J].中国家禽,2016,38(18):37–41.

[16] 申李琰,萨仁娜,牛晋国,等.层叠式立体笼养肉鸡舍秋冬季节环境参数研究[J].中国畜牧兽医,2017,44(5):1565–1570.

[17] 张建丽,牛晋国,申李琰,等.冬季笼养肉鸡舍 CO_2 浓度分布规律及其与温度湿度相关性分析[J].中国家禽,2017,39(16):67–68.

[18] 王妮,徐海花,张万福,等.商品肉鸡舍内环境因子含量测定及分布规律研究[J].家畜生态学报,2012,33(5):83–86.

[19] 胡晓苗,张丹俊,赵瑞宏,等.不同类型商品肉鸡舍冬季环境指标调查[J].家畜生态学报,2013,34(6):58–61.

[20] 周忠凯,董红敏,朱志平,等.笼养肉鸡不同季节 CH_4 和 CO_2 排放研究[J].农业环境科学学报,2011,30(9):1910–1916.

[21] 杜旭芹,郝凤桐.二氧化碳中毒研究进展[J].中国工业医学杂志,2010,23(4):273–276.

[22] GUAIS A,BRAND G,JACQUOT L,et al.Toxicity of carbon dioxide:a review[J].Chemical Research in Toxicology,2011,24(12):2061–2070.

[23] 房春燕,代允义,宋兴伟,等.低 O_2 高 CO_2 对小鼠血脑屏障及水通道蛋白-4 表达的影响[J].温州医学院学报,2009,39(2):104–107.

[24] 汪建新,王辰,庞宝森,等.高浓度二氧化碳致大鼠肺脏和右心室损伤的病理组织学观察[J].

中华结核和呼吸杂志,2001,24(7):410–413.

[25] 徐浩,王小同,徐漫欢,等.慢性低 O_2 高 CO_2 对小鼠神经元凋亡及硝基酪氨酸表达的影响[J].温州医科大学学报,2007,37(6):519–521.

[26] 吴彬,金露,王小同,等.慢性低氧高二氧化碳对小鼠大脑线粒体功能的影响[J].温州医科大学学报,2010,40(2):115–118.

[27] 包绍智,房春燕,王小同,等.慢性低氧高二氧化碳对小鼠骨骼肌形态的影响[J].温州医学院学报,2009,39(1):8–11.

[28] 周烨,吕建萍,孟武,等.急性二氧化碳中毒事故的调查[J].职业与健康,2003,19(10):38–39.

[29] SATISH U,MENDELL M J,SHEKHAR K,et al.Is CO_2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO_2 concentrations on human decision-making performance[J].Environmental Health Perspectives,2012,120(12):1671–1677.

[30] VEHVILÄINEN T,LINDHOLM H,RINTAMÄKI H,et al.High indoor CO_2 concentrations in an office environment increases the transcutaneous CO_2 level and sleepiness during cognitive work[J].Journal of Occupational and Environmental Hygiene,2016,13(1):19–29.

[31] EZRATY B,CHABALIER M,DUCRET A,et al.CO_2 exacerbates oxygen toxicity[J].EMBO Reports,2011,12(4):321–326.

[32] PURSWELL J L,DAVIS J D,LUCK B D,et al.Effects of elevated carbon dioxide concentrations on broiler chicken performance from 28 to 49 days[J].International Journal of Poultry Science,2011,10(8):597–602.

[33] REECE F N,LOTT B D.Effect of carbon dioxide on broiler chicken performance[J].Poultry Science,1980,59(11):2400–2402.

[34] OLANREWAJU H A,DOZIER W A,PURSWELL J L,et al.Growth performance and physiological variables for broiler chickens subjected to short-term elevated carbon dioxide concentrations[J].International Journal of Poultry Science,2008,7(8):738–742.

[35] MCGOVERN R H,FEDDES J J R,ZUIDHOF M J,et al.Growth performance,heart characteristics and the incidence of ascites in broilers in response to carbon dioxide and oxygen concentrations[J].Canadian Biosystems Engineering,2001,43:41–46.

[36] 戴荣国,周晓容,彭祥伟,等.CO_2浓度对肉鸡生产性能、体液免疫及血液指标的影响[J].西南大学学报（自然科学版）,2009,31(8):21–27.

[37] 戴荣国,彭祥伟,周晓容,等.研究舍内不同 CO_2 浓度对肉鸡的影响建立安全预警参数[C]//第十四届全国家禽科学学术讨论会论文集.哈尔滨:中国畜牧兽医学会,2009:655–661:

[38] 陈春林,戴荣国,周晓容,等.鸡舍 CO_2 浓度对肉鸡血液生化指标的影响[J].家畜生态学报,2009,30(2):59–61.

[39] HELBACKA N V,CASTERLINE J L,SMITH C J.The effect of high CO_2 atmosphere on the laying hen[J].Poultry Science,1963,42(5):1082–1084.

[40] 卢元鹏,周宁聪,闫鑫鹏,等.笼养蛋鸡舍二氧化碳浓度与生产效率分析[J].中国家禽,2015,37(4):62–64.

[41] GERRITZEN M,LAMBOOIJ B,REIMERT H,et al.A note on behaviour of poultry exposed to increasing carbon dioxide concentrations[J].Applied Animal Behaviour Science,2007,108(1/2):179–185.

[42] 吴义景,许月英.二氧化碳对鸡胚发育和孵化的影响[J].中国家禽,2009,31(19):35–37.

[43] SMIT L D,BRUGGEMAN V,DEBONNE M,et al.The effect of nonventilation during early incubation on the embryonic development of chicks of two commercial broiler strains differing in ascites susceptibility[J].Poultry Science,2008,87(3):551–560.

[44] BUYS N,DEWIL E,GONZALES E,et al.Different CO_2 levels during incubation interact with hatching time and ascites susceptibility in two broiler lines selected for different growth rate[J].Avian Pathology,1998,27(6):605–612.

[45] 黄继超,王鹏,徐幸莲,等.肉鸡宰前击晕研究进展[J].食品科学,2013,34(11):344–347.

[46] XU L,JI F,YUE H Y,et al.Plasma variables,meat quality,and glycolytic potential in broilers stunned with different carbon dioxide concentrations[J].Poultry Science,2011,90(8):1831–1836.

[47] 孙永波,邢焕,栾素军,等.氨气对肉鸡健康的影响及应对措施[J].动物营养学报,2017,29(11):3870–3876.

[48] 王欢,李骅,尹文庆,等.基于无线传输的鸡舍环境远程监测系统[J].南京农业大学学报,2016,39(1):175–182.

[49] 朱凤舞,梁天航.基于 ZigBee 和 GPRS 鸡舍有害气体监控系统的设计[J].农业与技术,2016,36(7):63–65.

[50] 邵丹,贺姣,施寿荣,等.垫料厚度对鸡舍氨气、二氧化碳和粉尘的影响[J].中国家禽,2015,37(1):59–60.

[51] 童海兵,邵丹,张珊,等.不同饲养密度对肉鸡舍内有害气体、粉尘和微生物的影响[J].中国家禽,2014,36(20):30–33.

[52] 胡立国,魏玉明,何彦春,等.中草药微生态制剂对控制规模化牛场牛舍有害气体及灭蝇效果试验[J].中兽医学杂志,2017(2):76–78.

[53] 刘伟,陈国营,陈丽园,等.生物活菌除臭剂改善鸡舍环境效果的研究[J].中国家禽,2010,32(24):15–19.

[54] 陈静,刘乃芝,徐辉,等.微生态喷雾剂改善笼养蛋鸡舍环境的效果[J].中国饲料,2014(11):19–22.

[55] 龚飞飞,孙斌,张浩,等.不同季节吸收剂 GY-4 对牛舍内 CO_2 和 NH_3 吸收性能的研究[J].新疆农业大学学报,2013,36(3):183–189.

[56] KOCAMAN B,ESENBUGA N,YILDIZ A,et al.Effect of environmental conditions in poultry houses on the performance of laying hens[J].International Journal of Poultry Science,2006,5(1):26–30.

[57] NI J Q,CHAI L L,CHEN L D,et al.Characteristics of ammonia,hydrogen sulfide,carbon dioxide,and particulate matter concentrations in high-rise and manure-belt layer hen houses[J].Atmospheric Environment,2012,57(5):165–174.

[58] FERGUSON N S,GATES R S,TARABA J L,et al.The effect of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers[J].Poultry Science,1998,77(8):1085–1093.

[59] 魏凤仙.湿度和氨暴露诱导的慢性应激对肉仔鸡生长性能、肉品质、生理机能的影响及其调控机制[D].博士学位论文.杨陵:西北农林科技大学,2012.

[60] HOSSAIN M,BEGUM M,KIM I H.Effect of *Bacillus subtilis*,*Clostridium butyricum* and *Lactobacillus acidophilus* endospores on growth performance,nutrient digestibility,meat quality,relative organ weight,microbial shedding and excreta noxious gas emission in broilers[J].Veterinární Medicína,2015,60(2):77–86.

[61] LI H L,ZHAO P Y,LEI Y,et al.Phytoncide,phytogenic feed additive as an alternative to conventional antibiotics,improved growth performance and decreased excreta gas emission without adverse effect on meat quality in broiler chickens[J].Livestock Science,2015,181:1–6.

Effects of Carbon Dioxide on Poultry and Control Measures

SUN Yongbo WANG Ya SA Renna* ZHANG Hongfu

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing* 100193, *China)*

Abstract: Environmental control is the most crucial step in broiler feeding technology, and the high concentration of harmful gases will affect the healthy growth of broilers. Although carbon dioxide itself is not toxic, long-term high concentration of carbon dioxide may reduce the performance of broilers and harm the health of broilers. It is of great significance to study the harmful effect of carbon dioxide on animal health and explore the effective measures to improve the air quality, which is of great significance to the healthy growth of livestock and poultry and the environment friendship. In this paper, we summarize the hazards of carbon dioxide in poultry house and the measures to reduce carbon dioxide concentration, which provide a theoretical basis for further research on the effects of carbon dioxide on broiler health and the reasonable regulation of carbon dioxide concentration in the house.

Key words: carbon dioxide; broilers; hazard; measures

*Corresponding author, professor, E-mail: sa6289@126.com

（责任编辑　武海龙）